

# Lepton Flavor Violation in Supersymmetric Unified Models

著者	戸部 和弘
号	40
学位授与番号	1508
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/38420">http://hdl.handle.net/10097/38420</a>

氏名・（本籍）	と　　べ　　かず　　ひろ 戸　　部　　和　　弘
学　位　の　種　類	博　士（理　学）
学　位　記　番　号	理　博　第　1　5　0　8　号
学位授与年月日	平　成　9　年　3　月　25　日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科，専攻	東北大学大学院理学研究科（博士課程）物理学専攻
学位論文題目	Lepton Flavor Violation in Supersymmetric Unified Models （超対称統一模型でのレプトンフレーバーの破れ）
論文審査委員	（主査）教　授　日　笠　健　一 教　授　吉　村　太　彦，教　授　柳　田　　勉 （東京大学）

## 論　文　目　次

1. Introduction
2. Motivation of supersymmetric theories
3. SUSY flavor problem
4. Lepton flavor violation in SUSY models
5. Conclusions and discussion

## 論　文　内　容　要　旨

素粒子の標準模型は現在のところ，電弱スケールの現象を非常に良く記述する理論として知られている。この理論は quark sector ではフレーバーの破れを予言し，確に  $b \rightarrow s \gamma$  のような現象は観測されている。しかし，lepton sector では neutrino の質量をゼロにするためにレプトンフレーバー（ $e$ ， $\mu$ ， $\tau$ ）は保存される。そのため，もしレプトンフレーバーを破るような現象（例えば  $\mu \rightarrow e \gamma$  など）が観測されるようなことになれば即それは標準模型を越える理論の存在を示唆することになる。

標準模型を越える理論として非常に魅力ある理論の一つとして大統一模型（GUT）がある。GUT では，quark と lepton が統一されるため quark が持つフレーバーを破る相互作用を lepton も持つことになり，レプトンフレーバーの破れが起こりうる。しかし，このようなレプトンフレーバーの破れの現象の event rate は大統一のスケール（ $M_{GUT}$ ）のパワーで制御され非常に小さくなってしまふ。そのため，直感的にはレプトンフレーバーの破れを調べることによって高いエネルギースケールの物理を記述する理論を探ることは困難であるように思える。

しかし，超対称性（SUSY）をもつような理論においては状況が全く異なる。SUSY は boson と fermion を結び付ける対称性で，標準模型のゲージ階層性の問題を解決する，よく動機づけられたものである。SUSY 理論は標準模型の全ての粒子に，質量の等しい SUSY partner が存在することを予言するが，実

際には電子と同じ質量を持つ scalar partner は見つかっていないことから、SUSY はソフトに破れていないてはならない。この時一般に SUSY をソフトに破る項である、quark や lepton の partner の squark slepton の質量項などに一般的にはフレーバーの破れが存在することが可能である。しかしこのようなフレーバーの破れは FCNC の実験の制限より、lepton sector, quark sector とともに非常に強く制限されていて、同じゲージ量子数を持つ squark や slepton は質量が縮退していることが要請されている。

実際に、squark や slepton の質量の縮退を実現するような SUSY を破るメカニズムは幾つか知られている。その一つとして超重力理論での hidden sector シナリオがある。このようなシナリオでは SUSY の破れが生成されるのは非常に高い Planck スケールなので高エネルギースケールの物理の影響を受けやすい。特に高いエネルギースケールの物理がレプトンフレーバーを破る相互作用を持つならば対称性によって slepton の質量の縮退が保証されているわけではないので、輻射補正によって slepton の質量項にフレーバーの破れが引き起こされる。いったん slepton がレプトンフレーバーの破れを持てばレプトンフレーバーの破れの過程の event rate は大きなスケールで抑制されることがないので大きくなることが期待される。

前に述べたように GUT では quark と lepton の統一のためにレプトンフレーバーを破る相互作用が存在する。top quark の湯川相互作用は大きいので slepton の質量に大きなフレーバーの破れを生成しうる。最も単純な SUSY SU (5) 模型では、up-type quark と right-handed lepton は同じ多重項に統一されるので right-handed slepton の質量項に大きなレプトンフレーバーの破れが生成されうる。しかし、この模型の  $\mu \rightarrow e \gamma$  の event rate とは異なった振る舞いを持つ  $\mu$ -e conversion 過程の探索は  $\mu \rightarrow e \gamma$  の探索と相補的な役割を果たしうる。

right-handed neutrino を含む理論でも lepton sector に新しい neutrino の湯川相互作用が加わるのでレプトンフレーバーの破れを引き起こす。この理論では SUSY SU (5) 模型とは違って left-handed slepton の質量項にレプトンフレーバーの破れが生成される。left-handed slepton は right-handed slepton とは違い SU (2) ゲージ相互作用も持つので、 $\mu \rightarrow e \gamma$  の過程でダイアグラムの間の相殺は起こりにくい。そのためもし第 3 世代の neutrino の湯川定数が top quark の湯川定数と同じで lepton sector の mixing matrix が小林-益川 matrix と等しいならば、非常に広いパラメーター領域で  $B(\mu \rightarrow e \gamma) > 10^{-14}$ ,  $R(\mu \rightarrow e \text{ conversion}) > 10^{-16}$  となりうることをわかる。

さらに、right-handed neutrino に含む GUT である SO (10) model では、一世代の quark, lepton が一つの 16 次元表現に埋め込まれるため、quark のフレーバーの破れを left-, right-handed slepton 両方が感じるので、両方の slepton の質量項にレプトンフレーバーの破れが生成される。この時もレプトンフレーバーの破れの過程の event rate は非常に大きくなることが期待され近い将来実験で到達しうる可能性が十分ある。

このように SUSY がソフトに破れた多くの理論で、特に大統一理論で、さまざまなレプトンフレーバーの破れの過程の event rate が将来の実験で到達しうるほど大きくなる可能性をもっている。高エネルギーの物理を探るためにあらゆるレプトンフレーバーの探索の努力を期待したい。

## 論文審査の結果の要旨

レプトンとは素粒子のうち、強い相互作用をしないスピン $1/2$ のフェルミオンである。レプトンには電荷 $-e$ を持つ電子、ミュー粒子とタウ粒子、およびそれぞれと対をなすニュートリノが知られている。この3種類をレプトンのフレーバーと呼ぶ。レプトンの性質として、フレーバーの保存がある。これは例えばミュー粒子が光を出して電子に崩壊する形跡がないことを説明するものであり、実際、素粒子の標準理論ではレプトンフレーバーは厳密に保存される。現在の実験では、この崩壊の分岐比は $10^{-11}$ 以下であることが知られている。

ところが、近年注目されている超対称統一モデルでは、このレプトンフレーバーの保存がごくわずかに破れていることがわかってきた。戸部和弘はこれに着目し、SU(5)超対称大統一モデルと、右巻きニュートリノを含む統一モデルにおいて、崩壊 $\mu \rightarrow e\gamma$ などの分岐比の正確な計算を行った。これは摂動論の高次の計算で、かなり複雑なものである。その結果は $10^{-14}$ 程度であるが、パラメータによっては極端に小さくなりうる。しかしその場合には $\mu \rightarrow e$ 転換過程を用いれば検証可能になることが見いだされた。またこの計算の過程で、以前に行われた計算の誤りを発見している。

このように、戸部和弘が自立した研究活動を行うのに必要な高度の研究能力と学識を持つことは明らかであり、戸部和弘提出の論文は、博士(理学)の学位論文として合格と認める。